

UTN Facultad Regional Paraná

Tecnicatura Universitaria en Operaciones y  
Mantenimiento de Redes Eléctricas

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA  
RECONECTADORES – SUBESTACIÓN  
TRANSFORMADORA DE LA COOPERATIVA  
ELÉCTRICA DE CHAJARÍ ENTRE RÍOS**

Losco Franco

e-mail: [francolosco1@gmail.com](mailto:francolosco1@gmail.com)

Reniero Rossi Mateo

e-mail: [mateorenierorossi@gmail.com](mailto:mateorenierorossi@gmail.com)

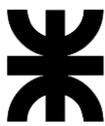
Cooperativa Eléctrica de Chajarí LTDA - 3228

Referente técnico: Itharte Guillermo Alejandro



## Contenido

Tabla de ilustraciones .....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen: .....	5
Introducción:.....	6
Información de la empresa:.....	6
Planteo de Problema: .....	7
Justificación: .....	7
Antecedentes:.....	8
Alcance y Limitaciones:.....	8
Objetivo: .....	8
Métodos:.....	8
Marco Teórico: .....	9
¿Por qué es necesario contar con un plan de mantenimiento?.....	9
Definición de RCM .....	9
Tipos de mantenimientos introducidos al RCM: .....	9
Ventajas y desventajas del RCM .....	10
El objetivo de RCM y tipos de acciones preventivas que propone.....	11
Desarrollo de la metodología RCM:.....	12
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS: (AMFE) .....	13
Equipo Que Analizar: Reconectores eléctricos Cooper tipo Kyle Nova 15, Nova 27 y Nova 28 .....	13
Matriz de Criticidad: .....	16
Planilla AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos) - (Solo evaluación de fallas).....	18
Diagrama de Ishikawa:.....	20
Árbol de decisión .....	22
Verificaciones operacionales previas a la energización:.....	23
Inspecciones a Baterías: .....	24
Vida Útil de los interruptores en Vacío:.....	25
Inspección de cable de control: .....	26
Planilla AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos) - (con descripción de tareas) .....	27



Tareas de mantenimiento .....	28
Vida útil de los Reconectores .....	30
Resultados esperados .....	30
Conclusión .....	31
Imágenes de Reconectores Analizados .....	32
Bibliografía .....	34

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Reconectores Cooper Nova instalados .....	5
Ilustración 2 Área de concesión según el EPRE .....	6
Ilustración 3 Gráficos de trabajadores por cargo .....	7
Ilustración 4 Las 7 preguntas claves del RCM .....	12
Ilustración 5 Pasos adicionales del RCM .....	12
Ilustración 6 tabla de Capacidades de voltaje de Reconectores Cooper Nova .....	13
Ilustración 7 Tabla de capacidades de corrientes de Reconectores Cooper Nova .....	13
Ilustración 8 Tabla de ciclo de trabajo de Reconectores Cooper Nova .....	14
Ilustración 9 Dimensiones de Reconectores Cooper Nova .....	14
Ilustración 10 Matriz de criticidad .....	16
Ilustración 11 Planilla AMFE (Solo evaluación de fallas) .....	19
Ilustración 12 Diagrama de Ishikawa .....	20
Ilustración 13 Grafico de patrones de fallas en funcion del tiempo .....	21
Ilustración 14 Árbol de decisiones .....	22
Ilustración 15 Tabla de verificaciones operacionales previas a la energización .....	23
Ilustración 16 Curva de vida del interruptor de vacío basado en el ciclo de trabajo .....	25
Ilustración 17 Receptaculo de sensor de voltaje interno .....	26
Ilustración 18 Receptaculo de sensores de voltaje de control .....	26
Ilustración 19 Planilla AMFE (completa) .....	27
Ilustración 20 Planilla con descripción de tareas .....	29
Ilustración 21 Equipo restaurador cooper Nova trifásico .....	32
Ilustración 22 Estructura con montaje del equipo restaurador .....	32
Ilustración 23 Gabinete de control .....	33
Ilustración 24 Mecanismo del restaurador Kyle Nova Tipo A con interfaz alimentada del control (viste interior con cubierta interior retirada) .....	33



## Agradecimientos

En primer lugar, nos gustaría agradecer a la empresa ENERSA por la oportunidad de estudiar esta tecnicatura sin formar parte de la institución ni de alguna EMPA relacionada con la misma, esto demuestra la calidad de oportunidades que brindan.

Por otro lado, también nos gustaría agradecer a la Cooperativa Eléctrica de Chajarí LTDA, por la oportunidad de realizar nuestras practicas profesionalizantes en sus instalaciones brindando el espacio, recursos e información que necesitamos tanto para la realización de este proyecto como para nuestra capacitación y aprendizaje.



### Resumen:

En el siguiente informe proponemos implementar un plan de mantenimiento para los reconectores de la subestación transformadora de la cooperativa eléctrica de Chajarí LTDA (Entre Ríos) implementando la metodología de mantenimiento RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE) mantenimiento centrado en la confiabilidad, basado en la importancia que radican estos dispositivos en un sistema de distribución de energía eléctrica y considerando que su principal función es restablecer la energía de manera automática frente a salidas de servicio por diferentes causas que detallaremos más adelante, además, de proveer las diferentes características de los reconectores Cooper Nova, brindaremos las diferentes tareas que los operarios deberán llevar a cabo a lo largo del tiempo para un correcto mantenimiento y así lograr la persistencia de estos equipos.



*Ilustración 1 Reconectores Cooper Nova instalados*



## Introducción:

### Información de la empresa:

La “Cooperativa eléctrica de Chajarí LTDA” Es una entidad formada en el año 1974, destinada al fin de brindar suministro eléctrico a pequeños, medianos y grandes usuarios ubicados en gran parte del departamento Federación ofreciendo satisfacer esta necesidad y proporcionando operación y mantenimiento de las redes eléctricas en su concesión ubicadas.

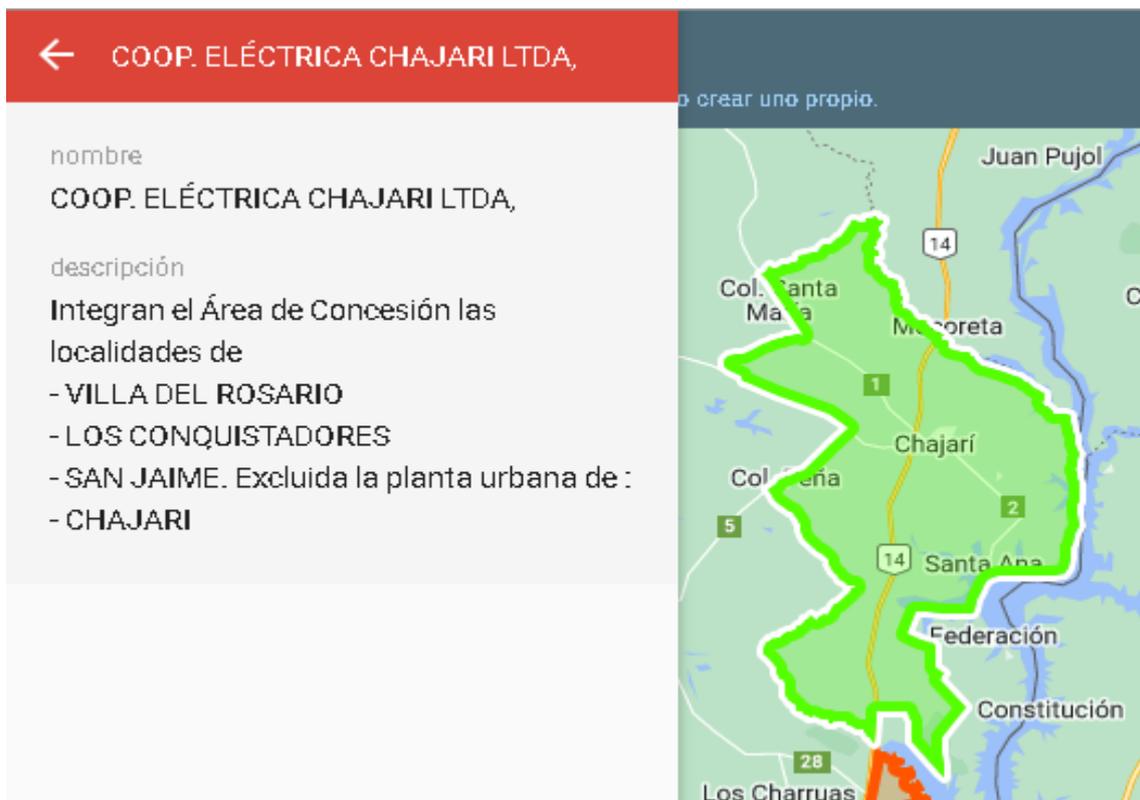


Ilustración 2 Área de concesión según el EPRE

### ESTRUCTURA:

La empresa posee un taller/depósito donde se almacena el stock de materiales (herrajes, repuestos, herramientas, etc.) incluyendo transformadores, y vehículos. Allí es el punto de encuentro del personal de redes y donde se realizan las acciones de mantenimiento y reparación, este se ubica por Avenida Belgrano S/N. Obrador de cooperativa eléctrica, además, cuenta con un sector administrativo ubicado por calle Bolívar 1425, donde se realizan acciones como atención al público, atención de reclamos, verificación de estado de medidores de forma digital, cobro de facturas y por último la empresa cuenta con tres subestaciones transformadoras, una ubicada por ruta 14 en el área industrial de Chajarí, otra ubicada también por ruta 14 a la altura de la rotonda de acceso de dicha ciudad y la última está ubicada en Villa del Rosario por Avenida 25 de Mayo.

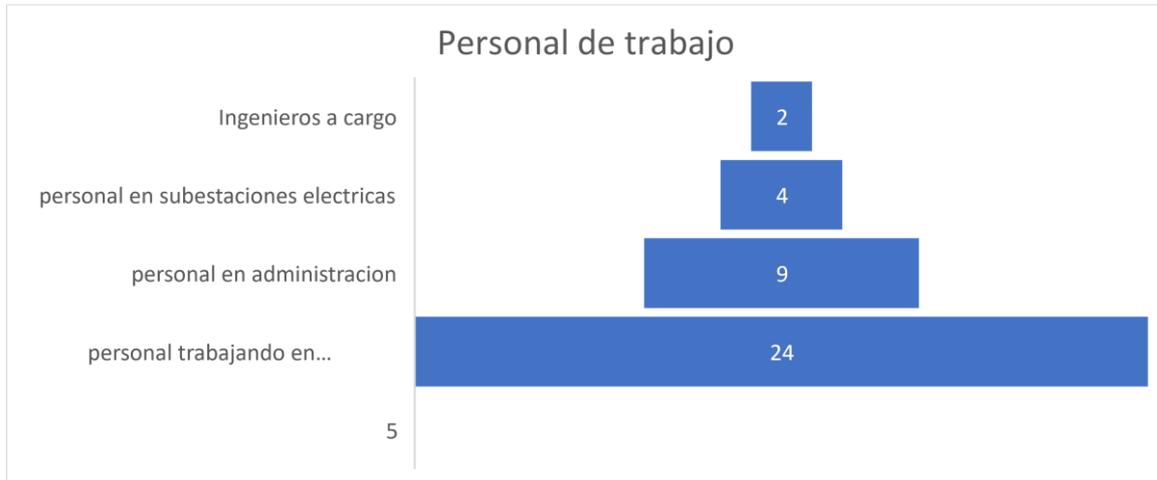


Ilustración 3 Gráficos de trabajadores por cargo

#### Planteo de Problema:

La demanda del servicio que suministra la cooperativa eléctrica de Chajarí avanza considerablemente con el tiempo, el área de abastecimiento crece rápidamente, se establecen nuevas redes de distribución por lo que se incrementan las posibilidades de siniestros en las mismas, aquí la intervención de los reconectores comienza a ganar cada vez más participación. Estos equipos de circuitos automáticos son reconocidos por las empresas de eléctricas de todo el mundo como un dispositivo esencial para lograr su objetivo principal, proporcionar siempre la continuidad del servicio a sus clientes de manera simple y económica.

Los reconectores tienen la capacidad de detectar las fallas y las sobre corrientes interrumpiendo el servicio de inmediato para proteger los demás equipos y restauran automáticamente el servicio después de un lapso de tiempo establecido, en el caso de que la falla sea momentánea este equipo se encargara de restablecer el servicio, si la falla perdura después de algunos intentos se desconectara de la red definitivamente.

La cooperativa eléctrica de Chajarí actualmente se encuentran sin un plan de mantenimiento elaborado para estos dispositivos, la falta acciones preventivas cotidianamente posibilitan la exposición a fallas/averías que pueden traernos la discontinuidad del servicio y exponernos a multas del ente regulador de la energía.

#### Justificación:

En base a la problemática planteada consideramos necesariamente elaborar un plan de mantenimiento que prevea estos sucesos indeseados que reducen la eficiencia y fiabilidad del sistema y abren posibilidades a futuras fallas o averías en estos equipos de tan importantes en las redes eléctricas. El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) le aportara una gran variedad de beneficios a nuestro plan de mantenimiento y su implementación lograra activos más seguros y confiables, reduciendo los costos (directos e indirectos), mejorando en la calidad del producto, y brindara un mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación



entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

#### Antecedentes:

Los reconectores en servicio de la cooperativa eléctrica de Chajarí no poseen grandes inconvenientes actuales ya que son prácticamente nuevos con pocos años en servicio.

Uno de los inconvenientes que se ha presentado en algunas ocasiones, fue la apertura y cierre intencionales por una falla en la placa de control a causa de la acumulación de plagas en el tablero general de comando. Mas allá de esto, podemos contar con una gran lista de fallas que pueden ocurrir en los Reconectores eléctricos, Así como aisladores rotos o agrietados, mecanismos de cierre y apertura en mal estado, fallas en los interruptores de vacío, piezas del exterior dañadas por las condiciones climáticas, y otras fallas que veremos mas adelante.

#### Alcance y Limitaciones:

El alcance propuesto por nuestro plan de mantenimiento se deriva en todos los componentes de los reconectores Cooper Nova trifásicos con niveles de tensión hasta 34,5 KV de exceptuado el sistema control (telecontrol)

#### Opciones de interfaz de mecanismos Nova:

interfaz con alimentación por control de microprocesador, interfaz con alimentación auxiliar, baterías de alimentación, puesta a tierra del restaurador, funcionamiento eléctrico, funcionamiento con pértiga. Brindaremos una breve introducción general de sistemas de control, pero no profundizaremos

#### Accesorios:

Bornes, interruptor auxiliar, colgador para montaje de poste, escuadra de montaje disipador de sobretensión, bastidor de montaje para subestaciones, baterías, bullying.

#### Objetivo:

El objetivo principal es reducir al máximo las posibilidades de fallas o averías de los reconectores, extender su vida útil y maximizar su disponibilidad el mayor tiempo posible, además de, asegurar que estos dispositivos puedan ejecutar sus maniobras de forma segura sin acontecimientos imprevistos.

#### Métodos:

En este informe utilizaremos la metodología de mantenimiento RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE). El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente, realizando acciones preventivas diagramadas con tiempos determinados.



## Marco Teórico:

### ¿Por qué es necesario contar con un plan de mantenimiento?

Las empresas persiguen metas cada vez más desafiantes, por lo que es importante tener todos sus equipos de producción en correcto funcionamiento. Para lograr esto, es el área de mantenimiento la que se ocupa de extender la vida útil de los principales activos de la empresa, a fin de garantizar un seguimiento que anticipe las fallas en lugar de aplicar meras acciones correctivas, que acaban con el problema, pero no se puede evitar el daño colateral. Un buen plan de mantenimiento no solo revierte un ahorro de dinero, sino que también mejora la seguridad, asegura la continuidad del servicio y la minimización del tiempo de inactividad, aumenta la eficiencia energética, optimiza el rendimiento de activos en uso con tal de alargar su vida útil e impulsa la eficiencia de la gestión de activos.

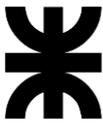
### Definición de RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente. Un aspecto clave de la metodología RCM es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su función de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere al valor del estándar de funcionamiento deseado, que debe ser igual, o se debe encontrar dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño)

### Tipos de mantenimientos introducidos al RCM:

Una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad emplea técnicas de mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo y proactivo de forma integrada para aumentar la fiabilidad en que una máquina funcionara de forma constante durante un ciclo de vida.

- **Mantenimiento Preventivo:** El mantenimiento preventivo se encarga de la conservación de los equipos en condiciones óptimas mediante revisiones regulares de la maquinaria y tareas de mantenimiento.  
Estos servicios pueden ser programados de acuerdo con un calendario o basados en el tiempo de funcionamiento del equipo.  
El proceso normalmente implica la inspección, la limpieza y los cambios de aceite y filtro. Un programa de mantenimiento preventivo puede reducir el tiempo de inactividad no planificado al proporcionar un sistema para identificar y solucionar cualquier reparación necesaria.
  
- **Mantenimiento Predictivo:** El mantenimiento predictivo utiliza una serie de herramientas y técnicas que supervisan el estado de las máquinas y equipos para predecir cuándo se van a producir problemas mediante la identificación de los indicadores de desgaste y otras fallas.



- **Mantenimiento Proactivo:** El mantenimiento proactivo es una estrategia de mantenimiento cuyo objetivo es determinar la causa raíz de los fallos de los equipos para corregirlos antes de que causen más problemas y provoquen averías en las máquinas. La aplicación de un mantenimiento proactivo en el lugar de trabajo puede impulsar la productividad, maximizar el uso de los activos y contribuir a la seguridad en el lugar de trabajo.
- **Mantenimiento reactivo:** Consiste en un proceso de reparación al que deben someterse aquellos activos empresariales en los que se evidencia cualquier deficiencia de rendimiento funcional. Se lleva a cabo cuando los equipos ameritan reparaciones urgentes.

### Ventajas y desventajas del RCM

#### **VENTAJAS:**

- ✓ Aumento de la eficiencia. El RCM aumenta en general la eficiencia del sistema, ya que sólo se centra en la gestión del sistema, aumenta la actividad de rendimiento mediante la eliminación de los fallos, aumenta el uso de los activos por el simple hecho de conseguir que no haya errores y reduce las causas de mantenimiento
- ✓ Reduce los costes de mantenimiento al eliminar los fallos no deseados antes de que se produzcan, ya que algunos fallos requieren más costes y más recursos para su reparación. Por lo tanto, reduce los costes generales de mantenimiento y de recursos.
- ✓ Mejora de productividad
- ✓ Aumenta la confiabilidad en los equipos

#### **DESVENTAJAS:**

- ☒ **Mantenimiento continuo.** Una de las principales desventajas del RCM es que requiere un mantenimiento continuo y regular para mantener los activos más fiables y a salvo de fallos.
- ☒ Requiere formación y costes de puesta en marcha.
- ☒ En principio, requiere más tiempo y recursos para realizar con éxito el análisis de RCM, que es muy necesario para mantener las prioridades.
- ☒ Aunque es efectivo, por otro lado, es un método complejo y difícil de llevar a cabo



### El objetivo de RCM y tipos de acciones preventivas que propone

Los dos objetivos fundamentales de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial son aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta

Es curioso como la aplicación del RCM no sólo permite el desarrollo de un plan de mantenimiento más avanzado y completo que la simple recopilación de las instrucciones de mantenimiento de los fabricantes de los equipos. Las acciones preventivas que propone RCM son de al menos cinco tipos distintos:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación.
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento
- Modificaciones o mejoras posibles.
- Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa.
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta para afrontar con eficacia el mantenimiento de ésta



### Desarrollo de la metodología RCM:

Las siete preguntas clave:

RCM se basa en la puesta de manifiesto de todos los fallos potenciales que puede tener una instalación, en la identificación de las causas que los provocan y en la determinación de una serie de medidas preventivas que eviten esos fallos acordes con la importancia de cada uno de ellos. A lo largo del proceso se plantean una serie de preguntas clave que deben quedar resueltas:



Ilustración 4 Las 7 preguntas claves del RCM

Para incrementar la calidad del análisis y efectividad de los resultados debemos primero cumplir con una serie de pasos adicionales al proceso RCM

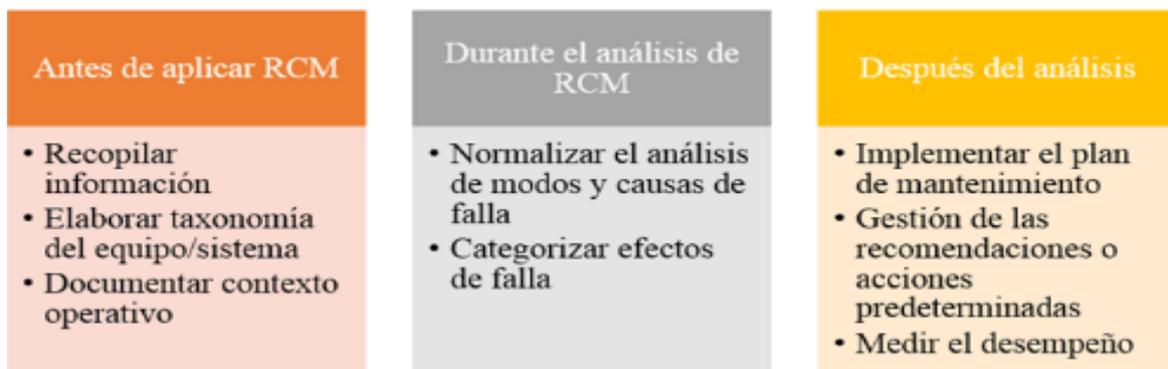
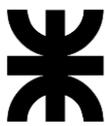


Ilustración 5 Pasos adicionales del RCM



## ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS: (AMFE)

Equipo Que Analizar: Reconectores eléctricos Cooper tipo Kyle Nova 15, Nova 27 y Nova 28

Los equipos que analizaremos son Los restauradores conectados son Kyle NOVA Trifásicos con interrupción por vacío, diseñados para sistemas de distribución de energía eléctrica de hasta 34,5 KV. Estos restauradores han sido diseñados y probados para ser compatibles con los controles Cooper Power Systems. Están disponibles con dos alternativas de configuración: interfaz con alimentación por control e interfaz con alimentación auxiliar.

El sistema polimérico aislante no depende del dieléctrico gaseoso, líquido ni en espuma. El Restaurador NOVA es muy resistente al ozono, Oxígeno, humedad, contaminación y luz ultravioleta. Poseen módulos interruptores de polímero sólido, un transformador de corriente encapsulado y una caja de aluminio estándar. Es adecuado para funcionar a temperaturas de -40°C a +55°C

VALORES NOMINALES Y ESPECIFICACIONES:

**TABLA 1**  
Capacidades de voltaje

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Voltaje máximo	15,5 kV	15,5 kV	29,2 kV	29,2 kV	38,0 kV
Nivel básico de impulso nominal	110,0 kV	125,0 kV	125,0 kV	150,0 kV	170,0 kV*
Límite de ruido radioeléctrico (µV)	100 a 9,4 kV	100 a 9,4 kV	100 a 16,4 kV	100 a 16,4 kV	100 a 23,0 kV
Frecuencia de voltaje no disruptivo, en seco	50 kV	50 kV	60 kV	60 kV	70 kV
Frecuencia de voltaje no disruptivo, en húmedo	45 kV	45 kV	50 kV	50 kV	60 kV

\* 170 kV con NS CP571192790 y siguientes; 150 kV entre NS 1000 y abajo de CP571192790

Ilustración 6 tabla de Capacidades de voltaje de Reconectores Cooper Nova

**TABLA 2**  
Capacidades de corriente (amperios)

Descripción	15 kV	15 kV	27 kV	27 kV	38 kV
Corriente continua nominal	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*	630 A*
Corriente en cortocircuito simétrica	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA**	12,5 kA
Corriente de cierre de cresta asimétrica	31,0 kA	31,0 kA	31,0 kA	31,0 kA	31,0 kA
Corriente de carga de cable	10 A	10 A	25 A	25 A	40 A

\* También se ofrece un accesorio de 800 amperios.

\*\*También se ofrece una opción de 16,0 kA. (La corriente de cierre tiene una magnitud de 40,0 kA de cresta asimétrica.)

Ilustración 7 Tabla de capacidades de corrientes de Reconectores Cooper Nova



**TABLA 4**  
**Ciclo de trabajo**

Tipo	Porcentaje de capacidad de interrupción	N° de operaciones del restaurador	Valor X/R mínimo del circuito
NOVA	15-20	88	4
	45-55	112	8
	90-100	32	17*
		<u>Total 232</u>	

\*Se ilustran los valores correspondientes a 60 Hz.

Ilustración 8 Tabla de ciclo de trabajo de Reconectores Cooper Nova

DIMENSIONES:

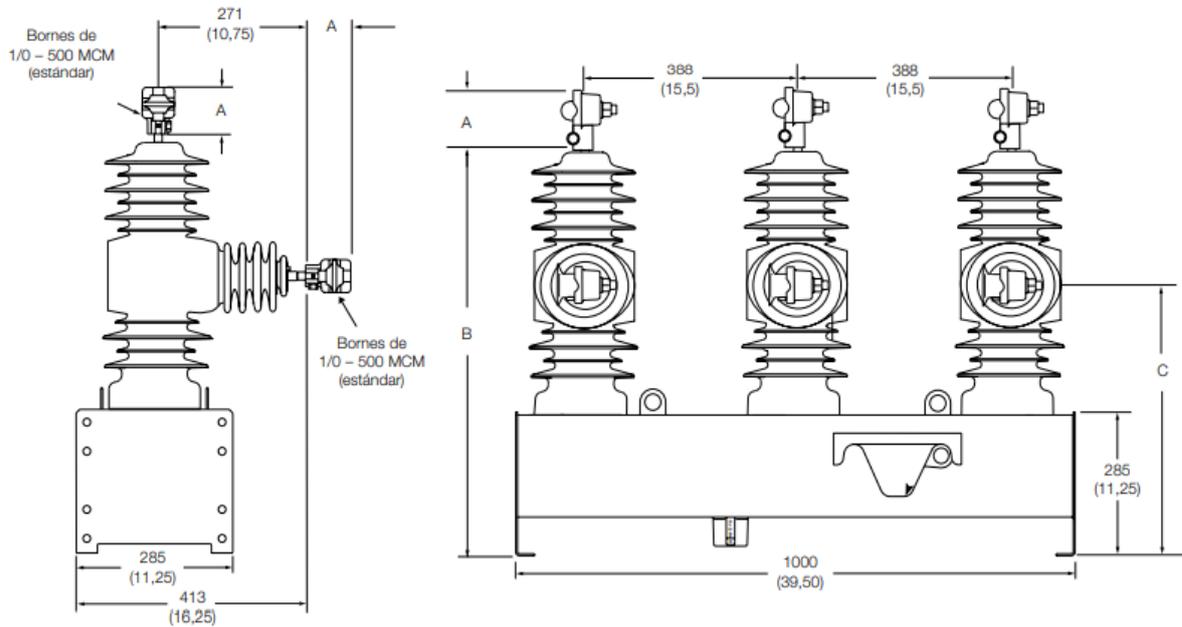


Ilustración 9 Dimensiones de Reconectores Cooper Nova

Opciones de borne	A	B	C
<b>Perno de argolla, 1/0 - 500 mcm</b> Alcance del cable (630 A máx.)	80 (3,25)	<b>NOVA 15</b> BIL de 110 kV 791 (31,25)	508 (20)
<b>Perno de argolla, 4/0 - 1000 mcm</b> Alcance del cable (800 A máx.)	108 (4,25)	<b>NOVA 15</b> BIL de 125 kV 847 (33,25)	564 (22,25)
<b>Borne plano, 2 agujeros</b> (630 A máx.)	114 (4,5)	<b>NOVA 27</b> BIL de 125 kV 847 (33,25)	564 (22,25)
<b>Borne plano, 4 agujeros</b> (800 A máx.)	121 (4,75)	<b>NOVA 27</b> BIL de 150 kV 946 (37,25)	663 (26,0)
<b>Tipo espárrago, roscas 1,125 - 12</b> (800 A máx.)	82 (3,25)	<b>NOVA 38</b> BIL de 170 kV 946 (37,25)	663 (26,0)

**Distancias de contorneamiento**

Descripción	15 kV BIL de 110 kV	15 kV BIL de 125 kV	27 kV BIL de 125 kV	27 kV BIL de 150 kV	38 kV BIL de 170 kV
Borne a borne	1052 (41,5)	1052 (41,5)	1052 (41,5)	1052 (41,5)	1052 (41,5)
Borne inferior a tierra	673 (26,5)	772 (30,5)	772 (30,5)	950 (37,5)	950 (37,5)

## FUNCIONES:

El reconector es un interruptor con que genera una reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobre corriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para re energizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo, además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconector abre en forma definitiva después de cierto número programado de intentos, de modo que aísla la sección que presenta una falla de la parte principal del sistema y así protege los demás equipos que componen la red.

El Reconector está dispuesto con tres fases separadas cubiertas por un aislamiento completo basado en aislamiento epoxi (resina ciclo-alifática) y es operado por una misma barra de accionamiento trifásico. La barra de aislamiento conectado en el extremo de contacto móvil transfiere una fuerza impulsora del actuador magnético al interruptor para realizar la operación de apertura/cierre. Tres boquillas aisladas en resina ciclo-alifática que se encuentran en la parte superior del tanque. Los transformadores de corriente TC son moldeados en el interior de la boquilla y los cuales se encargan de monitorear las corrientes de falla de fase, falla de tierra, corrientes de carga, y mandar señales al control electrónico

## FALLAS FUNCIONALES O ESTADOS DE FALLA:

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables de nuestro equipo. Los estados de fallas están directamente relacionados con las funciones deseada. **Por ejemplo**, una de las fallas que podemos tener en un reconector es el mecanismo de apertura y cierre en mal estado

## MODOS DE FALLAS:

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falta. Generalmente cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM. Siguiendo el ejemplo de falla de reconector “Mecanismo de apertura y cierre en mal estado” Su modo de falla sería que las piezas que lo integran están reventadas y con fisuras, oxidación, mecanismo pegado, con desgaste y desajuste

**EFFECTOS DE FALLA:**

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El efecto de falla es una breve descripción de que pasara cuando la falla ocurre. **Por ejemplo**, siguiendo con lo mencionado del Reconector, el Efecto de que el Mecanismo de apertura y cierre estén en mal estado será que el equipo tendrá dificultades en sus maniobras y en casos posibles no efectuarlas

**CATEGORÍA DE FALLAS:**

Al momento de analizar las fallas es importante sectorizarlas saber cómo afectara a sus usuarios de distintas formas, para el mantenimiento centrado en la confiabilidad deberemos tener en cuenta:

- Consecuencias de Seguridad: Si la falla pone en riesgo la seguridad de las personas
- Consecuencias Medioambientales: Si la falla afecta al medio ambiente
- Consecuencias operacionales: Si la falla incrementa los costos o reduce el beneficio económico de la empresa

**Matriz de Criticidad:**

Una vez identificados los fallos con sus modos de fallos y efectos, analizaremos su criticidad a través de una Matriz de criticidad. Permite apreciar el impacto de las fallas de los equipos sobre criterios tales como la seguridad, el medioambiente y la producción

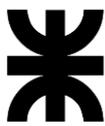
Columna1	Columna2	S	M	P	CP	F
VALOR	NIVEL DE AFECTACION	SEGURIDAD	MEDIOAMBIENTE	PRODUCCION	CONS. OPERACIONALES	FRECUENCIA
0	Sin impacto	Sin efecto	Sin posibilidad de daños al medio ambiente	Sin interrupcion del servicio	Sin coste	>5 años
1	Menor	Sin efecto de seguridad y sin tratamiento	Daños insignificantes facilmente reparables	interrupcion Menor	Coste de mantenimiento Menor	1<x<5años
2	Moderado	efectos limitados en la seguridad	Daños al medioambientes reparables con constes accesibles	interrupcion dentro del limite	Coste de mantenimiento aceptable	1 mes<x<1año
3	Severo	Daños serios, perdida potencial de la funcion de seguridad	Daños al medioambiente con altos efectos y costes significados	Interrupcion de larga duracion	Conste por encima de lo normal	1 semana<x<1mes
4	Catastrofico	perdidas de vidas, sistemas criticos no operativos	Daños al medioambiente irreversibles con una violacion de una	Parada de produccion	Conste alto de mantenimiento	x<1 semana

Ilustración 10 Matriz de criticidad



La tabla prevista toma en consideración 5 niveles de afectación (Sin impacto, menor, moderado, severo y catastrófico) para cada criterio (Seguridad, medioambiente, producción, Consecuencias operacionales y frecuencia). Para evaluar un fallo Solamente tendremos que poner la inicial del criterio (S, M, P, CP, F) y su nivel de afectación (0,1,2,3,4). Por ejemplo, si en un reconector se daña el gabinete donde contiene los mecanismos de cierre y apertura (Daño irreversible) tomaremos en cuenta la siguiente evaluación:

S: 0 – M: 0 – P: 4 – CP: 4 – F: 0



Planilla AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos)- (Solo evaluación de fallas)

A continuación, mostraremos la planilla de AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos) que utilizaremos en nuestro plan de mantenimiento, describiendo la función del ítem a analizar, su falla funcional, modo de falla y efecto de falla, utilizando en método de evaluación de criticidad descrito anteriormente. Para cada fallo que se encuentre en el equipo deberá des descripto a través de esta planilla colocando el dispositivo que fallo el equipo con su función.

AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos)								
<b>SISTEMA:</b>	Sistema de distribución eléctrica		<b>FECHA:</b>					
<b>ITEM:</b>	Reconector Cooper Nova trifásicos							
<b>FUNCION</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFFECTO DE FALLA</b>	S	M	P	CP	F
<b>Batería de alimentación:</b> Respaldo del reconector cuando la fuente de alimentación auxiliar se pierde	No brinda alimentación de suministro al sistema	1 Carga y descarga inadecuada	-No proveer alimentación cuando la fuente de alimentación auxiliar no funciona	0	1	4	3	1
		2 Cumplimiento de su vida útil						
		3 Condiciones ambientales Que pueden causar su deterioro						
		4 Mala calidad						
		5						
<b>Interruptor en vacío:</b> Realiza las operaciones de apertura y cierre de los contactos de Energización	El restaurador no realiza Maniobras de cierre o apertura	1 Desgastes en las piezas mecánicas	-Dificultades y/o no operaciones de cierre y apertura	0	1	4	4	0
		2 Fisuras						
		3 Piezas que lo integran en Mal estado						
		4 Mecanismos pegados con oxidación, desgaste O desajuste						
		5 Número de operaciones Mayores a las establecidas en el manual del equipo						



<b>Sistema de control (sistema inteligente) (DRIVER MPM)</b> Programador inteligente de conexión de cierre y aperturas	El Restaurador realiza cierre y aperturas descontrolados	1	Error de compatibilidad	-Fallas en los tiempos de cierre y aperturas -Dispositivos quemados a causa picos de tensión	0	0	1	1-4	2
		2	Orina de insectos en el Gabinete de control						
		3	Condiciones ambientales						
		4	Ciclo útil cumplido						
		5	Deterioro de los componentes eléctricos						
		6	Deterioro del aislante de los conductores						
<b>Aisladores</b>	Aisladores rotos o agrietados	1	Deterioro por condiciones climáticas	-Posibles retornos de la tensión entre la estructura metálica y las fases -Estructura energizada -Fugas de corrientes					
		2	Golpes por partículas del ambiente						
		3	Descargas eléctricas elevadas						
<b>Sistema de montaje:</b> Asegurar al equipo Restaurados sobre la columna	Leves vibraciones e Inclinaciones del restaurador	1	Desajustes o roturas De bulones, tornillos y Sistemas de sujeción	Equipo restaurador Inclinado vulnerable a Cambios de posiciones					

Ilustración 11 Planilla AMFE (Solo evaluación de fallas)



### Diagrama de Ishikawa:

Recomendamos utilizar el diagrama de Ishikawa para encontrar las Causas del fallo que estemos analizado. Consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional las diversas variables para facilitar el análisis de problemas

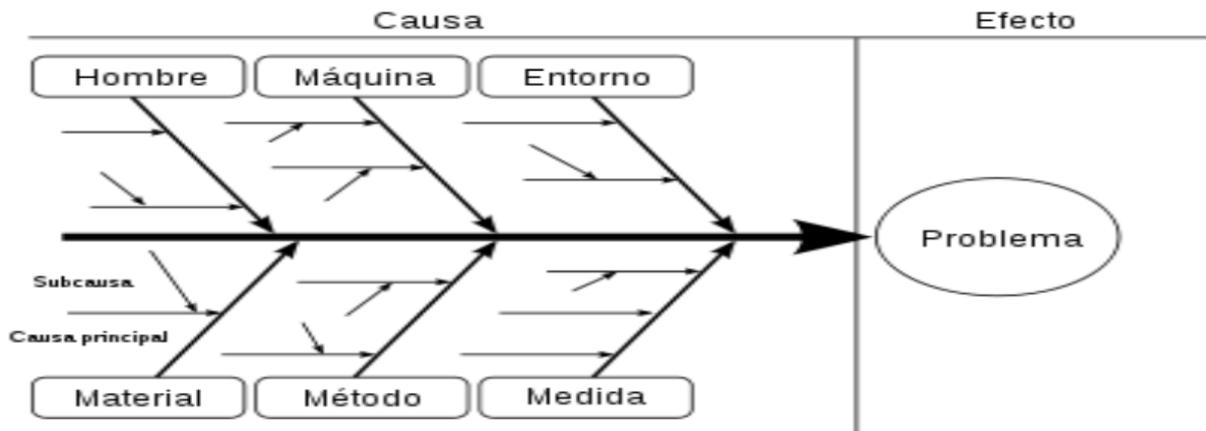


Ilustración 12 Diagrama de Ishikawa

En el eje horizontal principal se representa el problema, las líneas oblicuas que se conectan con el eje horizontal representan las causas valoradas como tales por personal participantes en el análisis del problema.

A su vez, cada una de estas líneas que representan las posibles causas, recibe otras líneas que representan las causas secundarias.

Cada grupo formado por una posible causa primaria o las causas secundarias que se relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

## PATRONES DE FALLA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO:

¿Cuál es la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo? Tradicionalmente se pensaba que la relación era bien simple: a medida que el equipo es más viejo, es más probable que falle. Sin embargo, estudios realizados en distintas industrias muestran que la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo u horas de operación es mucho más compleja. No existen uno o dos patrones de falla, sino que existen 6 patrones de falla distintos

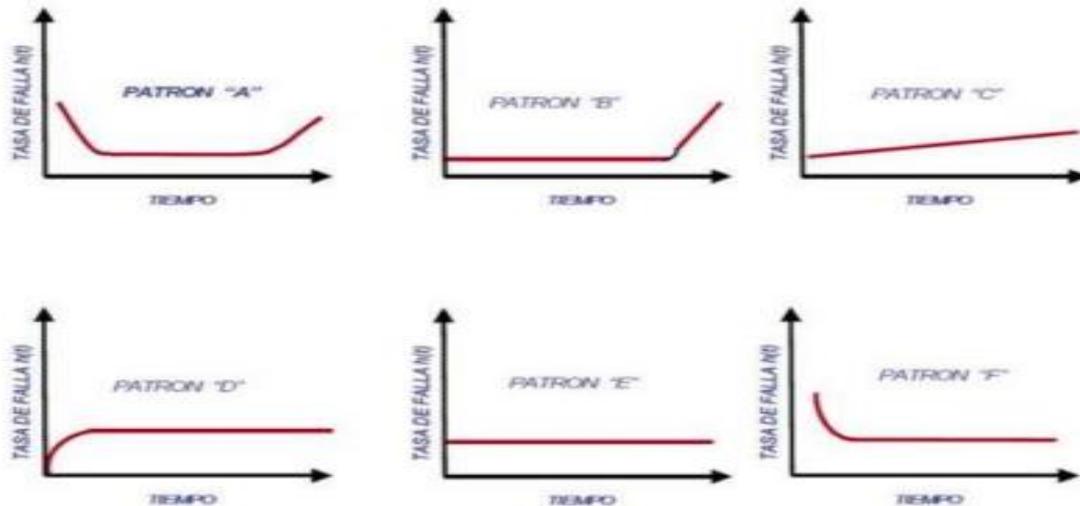


Ilustración 13 Gráfico de patrones de fallas en función del tiempo

**Patrón A** → Donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio, y al superar una vida útil identificable

**Patrón B** → Curva de desgaste

**Patrón C** → Donde se ve un continuo incremento de la probabilidad condicional de la falla

**Patrón D** → Donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falta constante

**Patrón E** → Patrón de falla aleatorio

**Patrón F** → Con una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria.



### Árbol de decisión

Después de definir cuál es la falla funcional, es necesario evaluar que acciones tomar dependiendo de su naturaleza, mediante de un árbol de decisiones.

Este método de análisis este compuesto por una serie de preguntas de decisión (si o no) que ayudan a analizar a determinar la necesidad y la disponibilidad de tareas de mantenimiento preventivos aplicables y eficaces para eliminar o prevenir fallos.

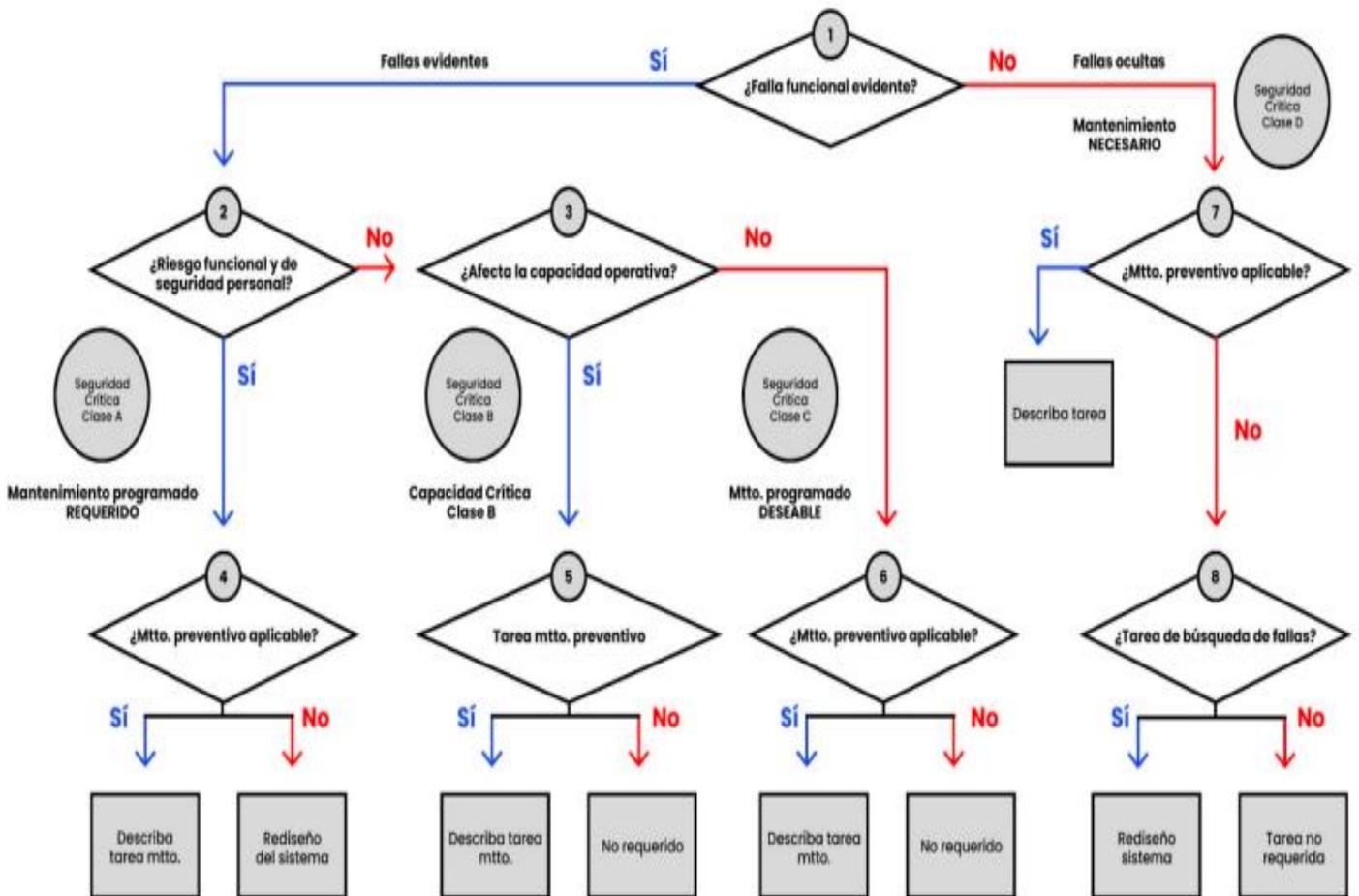


Ilustración 14 Árbol de decisiones



### Verificaciones operacionales previas a la energización:

Cuando el equipo de bloquea por una falla permanente, antes de reconectar el equipo en la línea es imprescindible efectuar los siguientes ensayos (como parte de los ensayos de rutina) Para ejecutar el ajuste y ensayo recomendado del equipo, la empresa deberá proveer una planilla con los siguientes datos que deberá inspeccionar cada vez que el equipo sea energizado:

VERIFICACIONES OPERACIONALES PREVIAS A LA ENERGIZACIÓN		
N° DE EQUIPO:		FECHA:
CAUSA DE BLOQUEO:		
OPERARIO:		
INSPECCIONAR		RESULTADOS
➤ Tensión de la línea de distribución		
➤ Tensión de la bobina de cierre		
➤ Fusibles de protección de la bobina		
➤ Valor de la corriente de censado de fase		
➤ Valor de la corriente de censado de tierra		
➤ Curva de protección de fase-rápida		
➤ Curva de protección de fase-retardada		
➤ Curva de protección de tierra-rápida		
➤ Curva de protección de tierra-retardada		
➤ Módulo de tierra		
➤ Numero de apertura hasta el bloqueo		
➤ Números de aperturas rápidas (Fase o tierra)		
➤ Intervalo de re cierre		
➤ Tiempo de rearme		

Ilustración 15 Tabla de verificaciones operacionales previas a la energización

### MIENTRAS EL RECONECTADOR SIGA DESENERGIZADO DEBEREMOS INSPECCIONAR LO SIGUIENTE:

1. Asegurarse que el reconectador este nivelado y anclado de forma segura
2. Chequeo final y ajuste de todos los herrajes
3. Apretar de forma segura los terminales y conexiones a tierra
4. Verificar los accesorios de la entrada del cable de control por ajuste
5. Asegurarse que los gabinetes de control de media y baja tensión estén puestos a tierra
6. Operar el reconectador desde la caja de control para verificar la operación normal



### Inspecciones a Baterías:

Para averiguar si las Baterías están en buen estado, desde el tablero de control procederemos con los siguientes pasos:

- 1) Pulsar 
- 2) Con el  desplazarse hacia **BATTERY**
- 3) Pulsar 
- 4) Con el Cursos dirigiese hacia **TEST BATTERY**
- 5) Pulsar 
- 6) Pulsar 

Aquí realiza un chequeo de las baterías y muestra:

- La tensión que tienen las mismas
- La corriente que tomo durante el chequeo

Las baterías se encuentran instaladas en la parte inferior del gabinete de control y están dispuestas en una posición que facilita el remplazo de las mismas. La vida útil de las baterías es de 2 años, sin embargo, esta durabilidad se puede reducir debido al manejo, condiciones de operación y condiciones ambientales.

En caso de ausencia de alimentación auxiliar, las baterías tienen la capacidad de alimentar al reconector por 30 horas con todas sus funciones activas, el voltaje nominal de la batería debe ser superior a 21V, en el caso de que sea menor la batería deberá ser reemplazada.



### Vida Útil de los interruptores en Vacío:

La vida de los interruptores de vacío depende del número de fallas interrumpidas y de la magnitud de corriente de falla. Por consiguiente, es muy importante registrar las operaciones de corto circuito, esta información la reporta el gabinete de control ya sea de manera local o por software. En el caso de superar las operaciones descritas en el manual o si en la pantalla del panel de control se indica un valor por debajo del 20%, los interruptores de vacío tienen que ser reemplazados.

#### Los interruptores en Vacío deberán cambiarse cuando:

- Pierden su vacío
- Los contactos del interruptor se han desgastado al punto de quedar inútiles, lo cual se manifiesta por la posición de la marca en la varilla de contactos móviles
- Los interruptores han completado el ciclo de funcionamiento de su vida útil

Una típica operación de trabajo para un reconector de vacío consiste en 116 interrupciones de corriente de falla en tres niveles: 16 interrupciones a 100% de la corriente, 56 interrupciones a 50% de la corriente, y 44 interrupciones a 20% de la corriente de falla. Esto es actualmente definido para representar la “media vida” de los contactos, donde la vida completa puede ser representada cuando se completan dos ciclos de operación

Usando los dos ciclos de trabajo y tomando una corriente de 12.5 kA como ejemplo, se puede deducir el trabajo total de la siguiente manera:

(12500 A)  $1.5 \times 32$  operaciones =  $44.7 \times 10^6$

(6250 A)  $1.5 \times 112$  operaciones =  $55.3 \times 10^6$

(2500 A)  $1.5 \times 88$  operaciones =  $11.0 \times 10^6$

Factor de trabajo: 232 operaciones =  $111.0 \times 10^6$

Entonces este factor de trabajo puede ser convertido a un equivalente de interrupciones:

$111.0 \times 10^6 / (12500 \text{ A}) 1.5 = 80$  operaciones a 12.5 kA

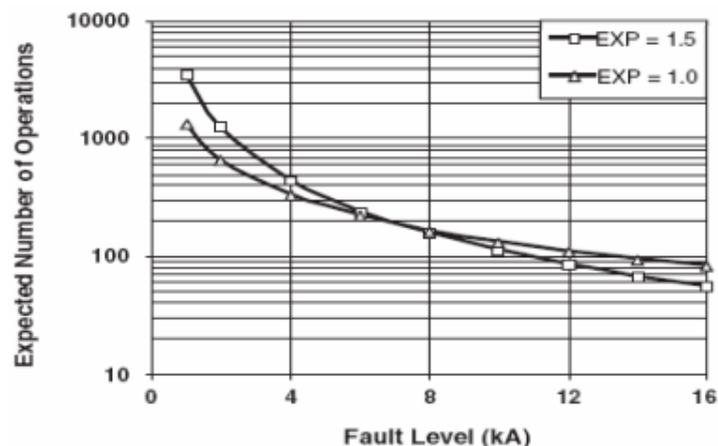


Ilustración 16 Curva de vida del interruptor de vacío basado en el ciclo de trabajo



### Inspección de cable de control:

Para inspeccionar el cable de control utilizaremos un voltímetro para revisar la continuidad entre las clavijas y receptáculos correspondientes de los enchufes de conectores en ambos extremos del cable del control electrónico y para comprobar la ausencia de continuidad entre clavijas y receptáculos no correspondientes para determinar la condición del cable de control Verificaremos visualmente si no están dañadas las entradas de los cables de control

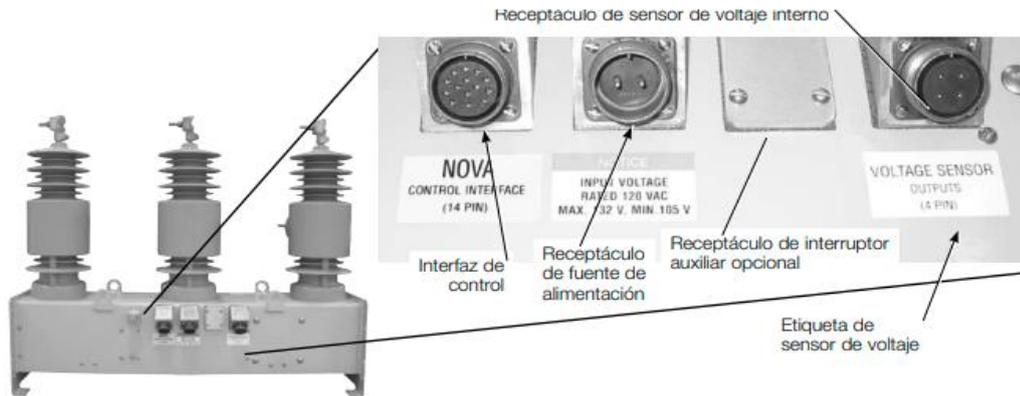


Ilustración 17 Receptáculo de sensor de voltaje interno



Ilustración 18 Receptáculo de sensores de voltaje de control



Planilla AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos)- (con descripción de tareas)

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)																							
Unidad de Producción:		Cooperativa eléctrica Chajari		Sub-Sistema:		Restaurador eléctrico		N° Docum.:															
Planta:		Subestación de transformación coop. Eléctrica Chajari		Equipo:		Continuo		Revisión:															
Sistema:		Sistema de distribución de energía eléctrica		Modo Operación:		Continuo		Fecha:															
Recopilado por:		Profesor: Ibarre Guillermo		Revisado por:																			
Análisis de Modos y Efectos de Falla AMFE (5 Primeras Preguntas del IMCC)					Tareas de Mantenimiento (2 Últimas Preguntas del IMCC)																		
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto Inicial de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Efecto Final de la Falla o Consecuencia (Que ocurre cuando Falla)	Frecuen.	Patrón	Severidad	Tipo de consecuencia			Tipo de Tareas			Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecutantes	Horas Hombre	Equipo Operando					
<b>Sistema de protección en las redes de distribución:</b> reconexión automática protección capaz de detectar una sobre corriente, interrumpe y reconectar automáticamente para reenergizar la línea	A El reconector posee inconvenientes al momento de realizar cierres y aperturas	1 Deseastes en las piezas mecánicas	1 dificultades de los mecanismos al realizar cierre y aperturas	1 El reconector respondera a los comando pero tendra dificultades para realizar las maniobras de cierre y apertura o en ocasiones no lo hara	1		9	4	0	0	4						1A	Mant.	2	1x1	No		
		2 Piezas en mal estado	2 dificultades de los mecanismos al realizar cierre y aperturas	2 El reconector respondera a los comando pero tendra dificultades para realizar las maniobras de cierre y apertura o en ocasiones no lo hara	2			4	0	0	4							1A	Mant.	2	1x1	No	
		3 mecanismos pegados con oxidación, desgaste o desajuste	3	3	3	1			4	0	0	4						1A	Mant.	2	1x1	No	
		4 Suciedad o insectos en las plaquetas de control	4	4	4	4			4	0	0	4						1A	Mant.	2	1x1	No	
		5 Aisladores dañados	5	5	5	4			0	1	0	1						15D	Mant.	2	1x1	SI	
		6 Agotamiento de baterías	6	6	6	1			0	4	0	0	4						15D	Mant.	2	1x1	SI
		7 El interruptor de vacío se excita de numero de maniobras presbaticadas	7	7	7	0			0	4	0	4							1A	Mant.	2	1x1	NO
		8 cables de conexión de control y potencia en mal estado	8	8	8	2			4	10	0	1	4						1A	Mant.	2	1x1	
		9 Fallas en el actuador magnetico	9	9	9	4			4	0	4								3M	Mant.	2	1x1	
		10 desajuste o roturas de bulones, tornillos y sistemas de sujeción.	10	10	10	2			0	0	1								3M	Mant.	2	1x1	
		11 Leves vibraciones e inclinaciones del restaurador (Gabinete de mecanismos y aisladores)	11	11	11	2			0	0	1								3M	Mant.	2	1x1	

Ilustración 19 Planilla AMFE (completa)



## Tareas de mantenimiento

TAREAS DE MANTENIMIENTO		
Equipo:	Fecha:	
Circuito:	Subestación:	
<i>Tareas de mantenimiento Predictivo</i>	Frecuencia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"><li>-Verificar estado de aisladores buscando grietas o fisuras</li><li>-Inspección del estado del gabinete del restaurador (pintura, corrosión, etc.)</li><li>-Verificar estado del cable de control</li><li>-Verificar estado de gabinete de control (pintura, corrosión, filtraciones, suciedad, etc.)</li><li>-Verificar estado de Batería mediante de la placa de control</li><li>-Verificar estado físico de Batería, que este en buen estado sin alteraciones físicas</li><li>-Inspección de estado de descargadores de sobretensión</li><li>-Inspecciones de conexión a tierra de la parte de potencia y la parte de control</li><li>- Verificar que número de operaciones ejecutadas de los interruptores de vacío no haya superado a las operaciones descritas en el manual</li><li>- Verificar el estado de la resistencia (calefacción) del gabinete de control, esto evitara la corrosión del mismo a largo plazo</li><li>- Verificar el correcto funcionamiento de la palanca de apertura manual y bloqueo del equipo, punto imprescindible para la apertura manual con pértiga y bloqueo del equipo para la seguridad de los operadores</li></ul>	1x15 Días	



<i>Tareas de mantenimiento Preventivo</i>	Frecuencia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"><li>-Limpieza de Aisladores con paños húmedos sin aportar mucha presión, cuidadosamente sin provocar daños al aislador, secar con trapo esterilizado</li><li>-Limpieza de descargadores</li><li>-Limpieza de maleza y fumigación para evitar plagas en el tablero de control</li><li>-Ajuste de cable de control en las entradas de alimentación en caso de que este flojo</li><li>-Ajuste de sistemas de sujeción (pernos, tornillos, tuercas, etc.) en el sistema de montaje</li><li>-Limpieza de Gabinete de control, aspirando toda su parte interna para eliminar todo tipo de suciedad, también utilizar desengrasante dieléctrico</li><li>-Limpiar plaqueta de control utilizando alcohol isopropílico</li></ul>	1x30 Días	
<i>Tareas de mantenimiento Correctivo</i>	Frecuencia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"><li>-Cambiar Aisladores en el caso contengan grietas o fisuras</li><li>-Cambiar elementos de sujeción (Pernos, tuercas, tornillos, etc.) en el caso de que estén dañados y no cumplan su función</li><li>-Reemplazar Baterías en el caso de que haya cumplido su vida útil, brinde la alimentación adecuada o contenga daños físicos que puedan interferir en su funcionamiento</li><li>-Reemplazar descargadores de sobretensión si se encuentran dañados</li><li>-Reemplazar piezas que contengan desgaste, oxidación, corrosión, etc. Que dificulten las operaciones de maniobras del restaurador</li><li>-Reemplazar resistencia de calefacción del tablero de control en caso de presentar fallas</li></ul>	Solamente Cuando sea necesario	

*Ilustración 20 Planilla con descripción de tareas*



## Vida útil de los Reconectores

La vida útil de los reconectores se determina de acuerdo con las condiciones técnicas del equipo y la variabilidad económica de la preparación o actualización tecnológica del equipo basado en criterios técnicos definidos para ello, de no cumplir con los parámetros establecidos el equipo se retira de la red y se da de baja.

Los criterios para determinar la obsolescencia tecnológica o la vida útil de los reconectores son:

- × Los interruptores en vacío fallados cuando presentan fallas en las piezas mecánicas como desgaste en la capa erosionable menor o igual a 3.2mm, fallas físicas como fisuras que permiten la pérdida del vacío, fallas eléctricas como la resistencia de contacto mayor a la estabilidad en la norma o el manual del equipo
- × Daños en el aislamiento sólido debido al deterioro de los soportes aislantes con caminos de fuga, prueba de resistencia de aislamiento con resultados por debajo de lo permitido, quemadas por acto eléctrico y/o reventadas por caídas del equipo
- × Cuba dañada o gabinete dañado (sin forma de reemplazo)
- × Cuando los reconectores ya no cumplen con las características técnicas de protección y de comunicación necesarias para la operación del sistema. (mecanismo de conteo de tiempo hidráulico-mecánico, curvas de protección definidas no ajustables, sistema de comunicación y protocolos inexistentes u obsoletos)
- × Cuando el equipo sobrepasa las operaciones para las cuales está diseñado, de acuerdo con el manual del fabricante.
- × Cuando los costos de reparación y/o actualización tecnológica superan el 50% del costo de reposición de uno nuevo.

## Resultados esperados

Los resultados que esperamos obtener son la confiabilidad en los reconectores y en los dispositivos que estos conllevan, así con un plan detallado de mantenimiento y acciones a seguir a lo largo de cada año teniendo en cuenta el desgaste y la cantidad de operaciones de cada uno, podríamos garantizar con mayor seguridad la confiabilidad y la continuidad de servicio, más allá de la protección de estos activos tan importantes.



## Conclusión

Como conclusión nos gustaría destacar la importancia de llevar a cabo un plan de mantenimiento estricto y detallado, gracias a esto podremos garantizar la confiabilidad y calidad del servicio además, de evitar encontrarnos con algunos problemas que suelen salir a la luz cuando no se realiza ningún tipo de mantenimiento predictivo ni preventivo, es importante tener en cuenta que para el desarrollo de nuestro plan de mantenimiento utilizamos el reconocido método llamado RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE) que se basa en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, como ya comentamos en el inicio es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen cumpliendo la función para la cual se los requiere, realizando acciones preventivas diagramadas en el tiempo.

Contamos con la información suficiente para garantizar que los reconectores son equipos fieles que no suelen requerir de un mantenimiento excesivo, pero contando además con la adquisición de un mantenimiento predictivo y preventivo podremos garantizar su permanencia en el tiempo sin imprevistos, además, sabemos que la Cooperativa Eléctrica de Chajarí cuenta con personal capacitado para la operación y el mantenimiento de las subestaciones de la misma, por lo tanto la puesta en marcha de nuestro proyecto podría llevarse a cabo sin ningún inconveniente.



### Imágenes de Reconectores Analizados

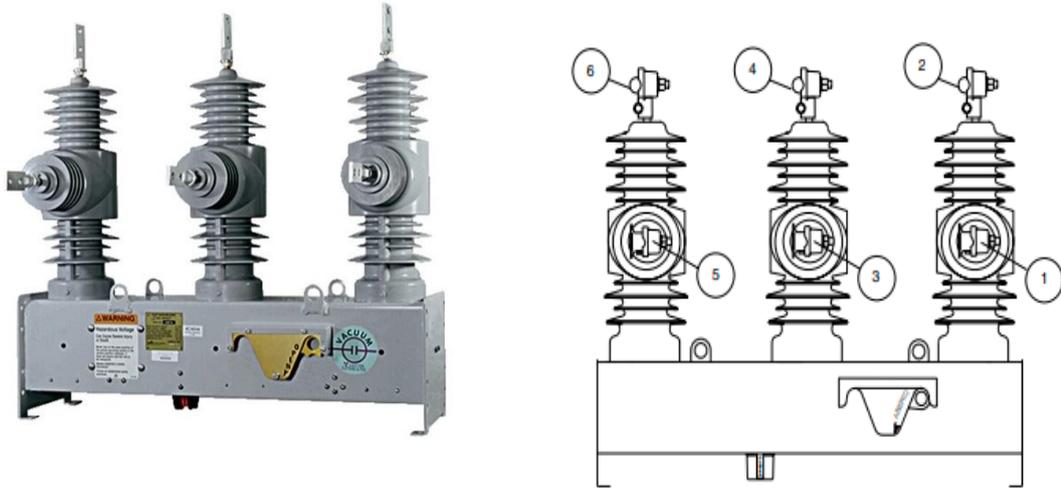


Ilustración 21 Equipo restaurador Cooper Nova trifásico



Ilustración 22 Estructura con montaje del equipo restaurador



Ilustración 23 Gabinete de control

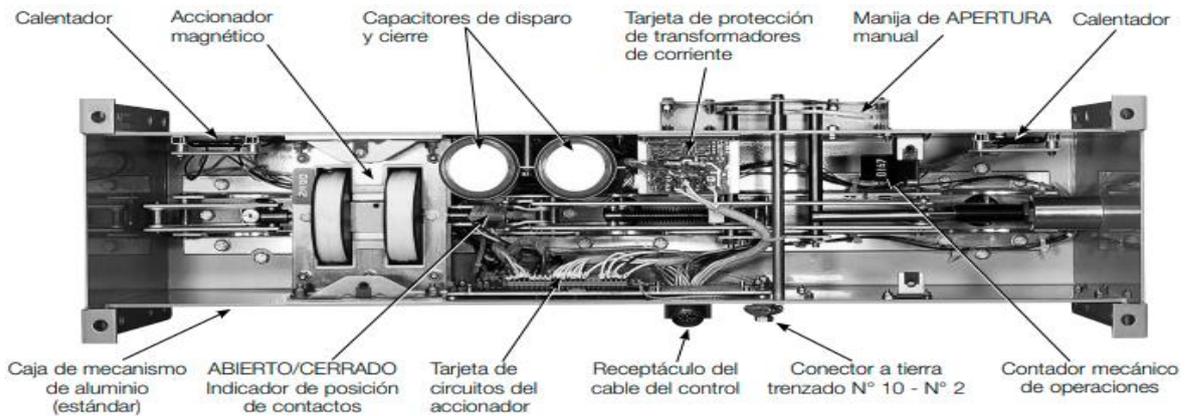


Ilustración 24 Mecanismo del restaurador Kyle Nova Tipo A con interfaz alimentada del control (viste interior con cubierta interior retrado)

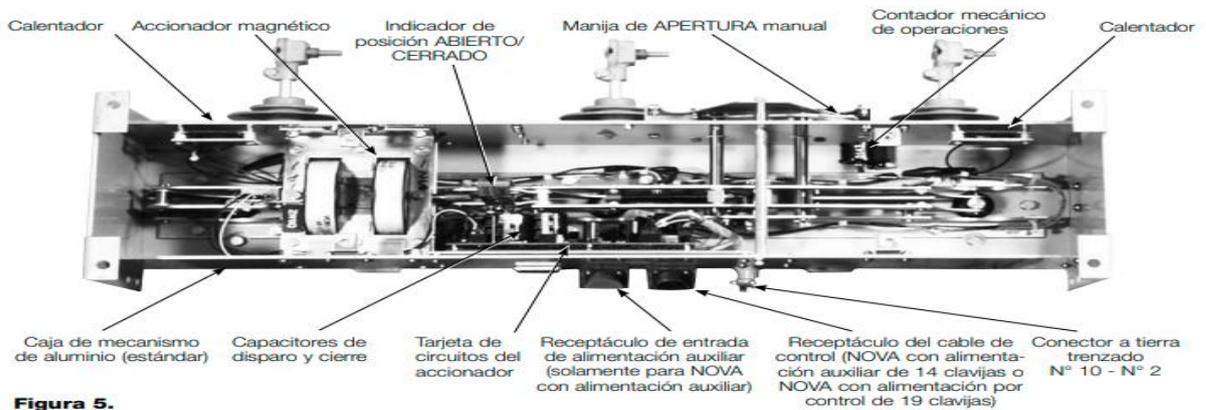
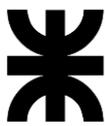


Figura 5.



## Bibliografía

- Cooper Power System (*Manual de Reconectores Kyles Nova*)  
[https://www.dielco.co/hubfs/Cat%C3%A1logos/09\\_COOPER/S280421S.pdf](https://www.dielco.co/hubfs/Cat%C3%A1logos/09_COOPER/S280421S.pdf)
- ENTEC (2016) [Entec Electric & Electronic Co., ltd] - *Manual de usuario Reconector automático*  
[https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\\_attachments&task=download&id=1797](https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com_attachments&task=download&id=1797)
- Omar Campos-López, Guilibaldo Tolentino-Eslava, Miguel Toledo-Velázquez, René Tolentino-Eslava (2018) - *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*  
[https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/#redalyc\\_61458265006\\_ref15](https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/#redalyc_61458265006_ref15)
- Manuel Bestratén Belloví, Rosa M<sup>a</sup> Orriols Ramos, Carles Mata París, centro nacional de condiciones de trabajo (2004) - *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE*  
[https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp\\_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba](https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba)
- Mg. Ing. Kenny Alberto Melendres Quispe – *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*
- Norma ISO 14224 *para uniformizar la información del equipo, utilización de bases de datos para las causas de falla y la evaluación de efectos de falla*
- Norma SAE JA1011 (1999) *sobre Criterios de Evaluación para el Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*
- Contenido elaborado por nosotros en Base a la experiencia de las prácticas profesionales supervisadas en la cooperativa eléctrica de Chajari